

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-238171

(P2002-238171A)

(43) 公開日 平成14年8月23日 (2002.8.23)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード (参考)
H 0 2 J 7/00		H 0 2 J 7/00	Q 5 G 0 0 3
H 0 1 M 10/44		H 0 1 M 10/44	P 5 H 0 3 0

審査請求 未請求 請求項の数11 O L 外国語出願 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2001-373733(P2001-373733)

(22) 出願日 平成13年12月7日 (2001.12.7)

(31) 優先権主張番号 0 0 4 0 3 5 7 3 . 9

(32) 優先日 平成12年12月18日 (2000.12.18)

(33) 優先権主張国 欧州特許庁 (E P)

(71) 出願人 391030332

アルカテル

フランス国、75008 パリ、リュ・ラ・ボ

エティ 54

(72) 発明者 セーアン・ペータセン

デンマーク国、2750・パレルツプ、ランテ  
ルブパンゲ、2

(72) 発明者 エスベン・ラーセン

デンマーク国、2750・パレルツプ、ランテ  
ルブパンゲ、2

(74) 代理人 100062007

弁理士 川口 義雄 (外5名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リチウムイオン電池の非散逸的管理システムおよび方法

(57) 【要約】

【課題】 複数の充電式セル  $C_1 \sim n$ 、前記複数の充電式セル  $C_1 \sim n$  の電荷を測定するための手段3と、前記充電式セルとの間で行き来する電流を切り替えるためのスイッチマトリックス2と、セルを再充電するための電荷を供給するための電流制御DC-DCコンバータ手段4とを有する電池パック1の充電管理システムおよび方法を提供すること。

【解決手段】 本発明は、前記電流制御DC-DCコンバータ手段4が前記スイッチマトリックス2を介して第1のセル  $C_1$ 、または電池全体の電荷  $V$  を放電させて、第2のセル  $C_j$ 、 $C_p$  を直接充電し、したがって実質的に電力散逸を避けることを特徴とする。

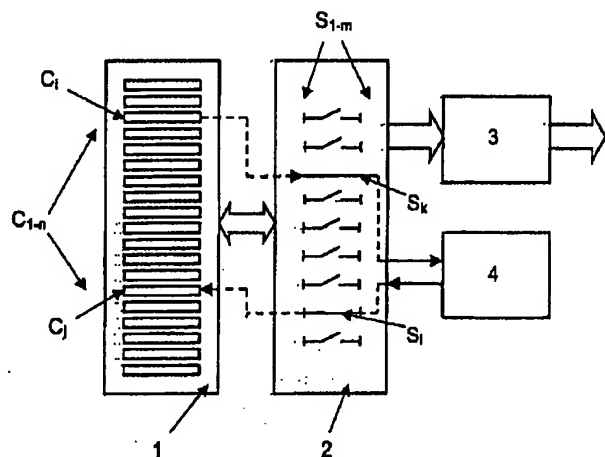


Fig. 1

AP

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の充電式セル ( $C_1 \sim n$ ) を有する電池パック (1) の電荷を管理するためのシステムであって、該システムは、前記複数の充電式セル

( $C_1 \sim n$ ) の各々の電荷を測定するための手段 (3) と、前記複数の充電式セルの各々との間で行き来する電流を切り替えるためのスイッチマトリックス (2) と、セルを再充電するための電荷を供給するための電流制御 DC-DC コンバータ手段 (4) とを有し、前記電流制御 DC-DC コンバータ手段 (4) が、第1のセル ( $C_1$ ) から、または電池全体の電荷 (V) から電荷を取り出すように構成されており、該電流制御 DC-DC コンバータ手段 (4) が前記スイッチマトリックス (2) を介して前記電荷を第2のセル ( $C_j$ 、 $C_p$ ) に直接移送することを特徴とする、電荷を管理するためのシステム。

【請求項2】 電池パック (1) の前記第1のセル ( $C_1$ ) が、所定の第1のレベルよりも高い充電レベルを有する請求項1に記載のシステム。

【請求項3】 電池パック (1) の前記第2のセル ( $C_j$ 、 $C_p$ ) が、所定の第2のレベルよりも低い充電レベルを有する請求項1または2に記載のシステム。

【請求項4】 前記電流制御 DC-DC コンバータ手段 (4) が、前記スイッチマトリックス (2) を介してセルから電気エネルギーを引き出すように構成されている請求項1から3のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項5】 前記スイッチマトリックス (2) が、前記電荷測定手段 (3) と協働して個々のセル電荷の測定に用いられる請求項1から4のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項6】 前記スイッチマトリックスが、セルの電荷を平衡にするための第1のスイッチマトリックス部 (2) と、電荷測定手段が測定を行うための接続を提供するための第2のスイッチマトリックス部 (2') とを有する請求項1から5のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項7】 前記電池セル ( $C_1 \sim n$ ) がリチウムイオン材料からなる請求項1から6のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項8】 請求項1または6のシステムにおいて開示されたスイッチマトリックス。

【請求項9】 複数の充電式セル ( $C_1 \sim n$ ) を有する電池パック (1) の電荷を管理する方法であって、前記複数の充電式セル ( $C_1 \sim n$ ) の各々の電荷を測定するステップと、スイッチマトリックス (2) によって前記複数の充電式セルの各々との間で行き来する電流を切り替えるステップと、電流制御 DC-DC コンバータ手段 (4) によってセル ( $C_j$ 、 $C_p$ ) を再充電するために電荷を供給するステップとを有し、前記電流制御 DC-DC コンバータ手段 (4) が、前記第1のセル ( $C_1$ )

から、または電池全体の電荷 (V) から電荷を取り出し、該電流制御 DC-DC コンバータ手段 (4) が前記スイッチマトリックス (2) を介して前記電荷を第2のセル ( $C_j$ 、 $C_p$ ) に直接移送することを特徴とする、電荷を管理する方法。

【請求項10】 前記電流制御 DC-DC コンバータ手段 (4) が前記スイッチマトリックス (2) を介してセル ( $C_1 \sim n$ ) から電気エネルギーを引き出す請求項9に記載の方法。

【請求項11】 前記スイッチマトリックス (2) が、前記電荷測定手段 (3) と協働して個々のセルの電荷を測定する請求項9または10に記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、リチウムイオン ( $Li$ -イオン) 電池に関連する電荷の管理システムならびに方法に関する。より詳細には、本発明は、 $Li$ -イオン電池パックを形成する様々なセルに関連する電荷の管理に関する。その管理とは、制御された方法で前記パックの電圧の高いセルから電圧の低いセルへ電荷が移動し、そうすることにより電圧の高いセルの過電荷を散逸させる必要をなくすように管理するものである。さらに本発明のシステムは、望ましい結果を得るのに非常に簡単な回路構成を利用し、前記回路はスイッチマトリックスに関連する単一の DC/DC コンバータの使用に基づいており、ここで DC/DC コンバータはセルを充電するために内部の充電電源を用いる。本発明は、これに限定されるわけではないが、特に宇宙産業用途に適用可能である。

## 【0002】

【従来の技術】  $Li$ -イオン電池技術の使用は比較的新しい。この電池を使用しようとする傾向は、知られている水系セルに比べて重さおよびサイズが小さいこと、低減された生産コストと静電容量効果のないことなど、この電池の使用に関していくつかの利点があるためである。これまで、この電池は特に携帯電話器、ポータブルコンピュータ、ビデオレコーダおよび電気自動車に用いられてきた。

【0003】  $Li$ -イオン電池は通常、電池全体としての電圧を得るために直列接続で配列された一連のセルを含む。電池容量は第1に個々のセル容量によりまた第2に個々のセルの並列の数により定められる。

【0004】  $Li$ -イオンセルは古典的な電池セルに比べて特殊な制約がある。すなわち、使用中に、セルの電荷がある特定の最小電圧より低下せずまたある特定の最大電圧を超えないように、セルの電荷は制御されねばならない。したがって、各セルには最小電荷および最大電荷の間の許容充電範囲がある。セルのこの許容充電範囲を外れることは、下限 (最小) を下回っても上限 (最大) を超えてもセルを破壊する可能性がある。

【0005】したがって、セル電荷の正確な測定に基づいて個々のセルの電荷を制御するためのリーイオン電池の管理手順を提供することが求められている。このような手順は原理的に以下の基準に基づくであろう。すなわち、セルの電荷がある特定の値を超えた場合、セルは放電させなければならず、また同様に、電荷がある特定の最小値に達した場合、セルは充電されなければならない。この手順は基本的に当技術分野で知られている電池管理の古典的手法である。これらの手法は通常、高い電圧値をもつセルに見出される過電荷をいわゆるブリーダ抵抗器に散逸させることに基づいている。この手法の主な欠点は、熱散逸が増加してしまいその結果、太陽電池パネルにより生み出されるエネルギーの活用に関してはシステム効率が劣ることになるということである。

【0006】電池（またはセル）の電荷の管理中における熱散逸を避ける試みが当技術分野において行われてきた。この種の2、3の手法が、IEEEにより刊行され、N. H. Kutkut等により「Dynamic equalization techniques for series battery stacks（直列電池スタックの動的均等化技術）」という表題で、1996年10月6～10日に米国マサチューセッツ州ボストンで開かれた第18回 International Telecommunications Energy Conference (INTELEC) で提出された論説中の515～521ページに示唆されており、この内容を参照により本明細書に組み込む。

【0007】前記文献に教示される手法の1つによれば、電荷の均一化は各電池セルのすべてに個別の電流制御DC/DCコンバータモジュールを用いることにより達成される。この解決法に関連する欠点は電池セルと同じくらい多数のコンバータを用いることであり、これは回路の複雑さおよびコストを実質的に増大させる。

【0008】同じ文献で示唆される別の手法は、多巻線変圧器と共に集中コンバータを用いる。この解決法もまた、含まれる回路が複雑でまたコストが高いという欠点をもつ。

【0009】前記文献により示唆される従来技術のさらなる解決法は、本発明により提示される解決法とは異なる手法に関係する。

【0010】米国特許第5656915号は、電池パック内の予め選択されたセルグループに電流を流すスイッチの配置を利用する電池管理の配置構成を開示している。充電する必要があるセルグループはここではスイッチの配置を介して充電電源に接続される。この文献の教示と本発明のそれとの間に存在する相違のひとつに、従来技術の文献における配置は集成的な方法でセルの平衡化を意図している、すなわち充電は前もって選択されたセルグループに対して実施され、個々のセルに対してではないという事実を挙げることができる。さらに、米国

特許出願第5656915号の教示によれば、大きな電荷をもつセルから得られる過電荷は電荷の少ないセルに直接充電されるのではなく、過電荷はパワーバスを介して外部RC回路に放電されそして放電されると、電荷の大きなセルグループは切り離される。次に電荷の少ないセルグループがパワーバスを介してRC回路に接続され、この新しい接続によりそこにエネルギーが移される。したがって、電荷の大きなセルが放電し電荷の少ないセルを充電する間の時間だけエネルギーをRC回路に貯えることによって、RC回路内で、ある量の熱損失があるはずである。一方ではエネルギー損失をなくそうとしており、また他方熱を発生するどのようなエネルギー散逸も非常に望ましくないため、この欠点は宇宙での適用においては非常に問題である。最後に、前記文献に開示される全体としてのシステムは比較的複雑であるということに注意すべきである。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】したがって、複雑な回路を用いる必要がない効率的で非散逸的な方式でのリーイオン電池セルの電池充電管理を提供することが望まれる。

【0012】

【課題を解決するための手段】前記目的は、本発明によって提示される解決法を用いることにより達成される。本発明によれば所定の上限值を超える電荷をもつ電池セルから所定の下限值よりも小さい電荷をもつセルへと充電が行われる。したがって過電荷は、電荷の大きいセルから電荷の小さいセルへと、熱として散逸されることなく移動される。

【0013】この解決法は、セル間で電荷を移動させるように単一のDC/DCコンバータを利用する簡単な回路構成により達成され、セル間の電荷移動はスイッチマトリックスを利用することにより実施され、スイッチマトリックスはDC/DCコンバータを介して適切なセルの間に接続を確立して電荷移動を可能にする。

【0014】さらに、同じスイッチマトリックスはまた、以下にさらに説明される電荷測定手段と協働して個々のセル電荷の測定に用いられる。前記測定は簡単なアルゴリズムを用いて実施され、それによりすべてのセルは連続的に前記電荷測定手段による測定対象となる。したがって、所与の短い時間に各セルの電荷の状態をマッピングすることが可能となる。

【0015】得られたマッピング情報に基づいて、過電荷のセルから、電荷が少なくしたがって充電される必要があるセルへと電荷移動が行われる。

【0016】したがって、本発明の1つの目的は、複数の充電式セルを有する電池パックの電荷を管理するためのシステムを提供することであり、このシステムは前記複数の充電式セルの各々の電荷を測定するための手段と、前記複数の充電式セルの各々との間で行き来する電

流を切り替えるためのスイッチマトリックスと、セルを再充電するために電荷を供給するための電流制御DC/DCコンバータ手段とを含み、前記電流制御DC/DCコンバータ手段が、第1のセルから、または電池全体から電荷を取り出すように構成されており、前記スイッチマトリックスを介して第2のセルに直接充電することを特徴とする。

【0017】本発明の一態様によれば、電池パックの前記第1のセルの充電レベルは所定の第1のレベルより高い。

【0018】本発明の別の態様によれば、電池パックの前記第2のセルの充電レベルは所定の第2のレベルより低い。

【0019】本発明のさらなる態様によれば、前記電流制御DC/DCコンバータ手段は前記スイッチマトリックスを介してセルから電気エネルギーを取り出すように構成されている。

【0020】本発明のさらに別の態様によれば、前記スイッチマトリックスは前記電荷測定手段と協働して個々のセル電荷の測定に用いられる。

【0021】本発明のさらに別の態様によれば、本発明のスイッチマトリックスは、セルの電荷を平衡にするための第1のスイッチマトリックス部と、電荷測定手段が測定を行うための接続を提供するための第2のスイッチマトリックス部とを有する。

【0022】本発明のさらに別の態様によれば、前記電池セルはリチウムイオン材料からなる。

【0023】本発明の別の目的は、本発明のシステムにおいて開示されるようなスイッチマトリックスを提供することである。

【0024】本発明の別の目的は、複数の充電式セルをもつ電池パックの電荷を管理する方法を提供することであり、前記複数の充電式セルの各々の電荷を測定するステップと、スイッチマトリックスにより前記複数の再充電式セルとのそれぞれの間で電流を切り替えるステップと、電流制御DC/DCコンバータ手段によりセルを再充電するための電荷を供給するステップとを有し、前記電流制御DC/DCコンバータ手段が第1のセル、または電池全体から電荷を取り出し、前記スイッチマトリックスを介して第2のセルに直接前記電荷を充電すること

に特徴がある。

【0025】本発明の別の態様によれば、電池パックの電荷の管理方法が提供され、該電池パックにおいて前記電流制御DC/DCコンバータ手段は前記スイッチマトリックスを介してセルから電気エネルギーを引き出す。

【0026】本発明のさらに別の態様によれば、前記スイッチマトリックスは前記電荷測定手段と協働して個々のセルの電荷を測定する。

【0027】本発明のこれらのおよびさらなる利点は、添付図の助けにより特許請求の範囲と同様に、以下の記

載においてより詳細に説明される。

【0028】

【発明の実施の形態】図1に示される概略図によれば、電池パック1は直列接続で配列された複数のセルC<sub>1~n</sub>をもつ。この電池パック1は、複数のスイッチS<sub>1~m</sub>をもつスイッチマトリックス2と、両方向矢印により図に示されるように双方向接続している。このスイッチマトリックスは、リレーマトリックスによるかまたは他の知られているスイッチングデバイスにより実施できる。

【0029】上記でさらに論じたように、正常な作動中にはセルの電荷は、セルの電荷がある特定の最小値より小さくならずまたある特定の最大値を超えないように制御されねばならない。したがって、セルが過充電または充電不足状態にならないように、簡便な方法で各セルの充電レベルを測定することが必要とされる。

【0030】電荷測定手段3はセルの電荷を測定するのに用いられる。前記電荷測定手段3は、スイッチマトリックス2を介して各セルに選択的に接続することにより各セルの電荷を測定する。電荷測定手段3はセルC<sub>1~n</sub>の電荷を連続的に測定し、所与の時間で各セルの電荷の状態をマッピングする。スイッチマトリックスはまた電流制御DC/DCコンバータ手段4と双方向接続している。

【0031】この配置構成で、本発明による電荷管理プロセスは好ましくは以下の方法で実施される。

【0032】各セルの電荷のマッピングに基づいて、あるセルが所定の低い方の値よりも小さい電荷をもち、またその他のセルが所定の高い方の値を超える電荷をもつことが検出される。

【0033】図1において、セルC<sub>j</sub>は所定の低い方の値よりも低い充電レベルにあり、このため前記セルは充電される必要があると仮定されている。セルC<sub>j</sub>の低い充電レベルは、スイッチマトリックス2を介して電池パックのすべてのセルの電荷を読み取る電荷測定手段3により検出される。電荷測定手段3はまた、過電荷、すなわち所定の高い方の値を超える電荷をもつセルC<sub>i</sub>を検出する。この情報は知られている方法で、簡便のために図には示されていない中央演算処理ユニットに送られる。次にスイッチマトリックス2は、過電荷セルC<sub>i</sub>から電流制御DC-DCコンバータ手段4への適切な第1の単一スイッチS<sub>k</sub>を閉じることにより第1の接続を、同様に電流制御DC-DCコンバータ手段4から前記所定のレベルよりも小さい電荷をもつことが検出されたセルC<sub>j</sub>への第2の単一スイッチS<sub>l</sub>を閉じることにより第2の接続を形成する。この方法では、接続は、過電荷セルC<sub>i</sub>からスイッチS<sub>k</sub>を介して電流制御DC-DCコンバータ手段4へと、また電流制御DC-DCコンバータ手段4から、スイッチS<sub>l</sub>を介して充電される必要があるセルC<sub>j</sub>へと形成される。したがって、充電はC

1 から C<sub>j</sub>」に行われる。充電電流は受ける側のセル C<sub>j</sub> の充電レベルが許容範囲内の値に充電されるまで流れ続ける。

【0034】図2は本発明の代替実施形態を表す。この図では図1で表示されたものと同じ部分に同じ参照番号が与えられている。同様に、セル C<sub>1</sub>~n の電荷を測定する方法は、図1の実施形態に関して記載されたように、スイッチマトリックス2を介して電荷測定手段3を用いて実施される。

【0035】図2において、参照符号 C<sub>p</sub> をもつセルの充電レベルは所定の低い方の値よりも低い。しかしこの実施形態においては、前記セル C<sub>p</sub> は電池全体の電荷から得られる充電電流を受けるのであり個々のセルからではない。図2に明確に示されるように、電流制御 DC-DC コンバータ手段4は、電池全体の電荷の出力端子 V に直接接続されており、そこからスイッチマトリックスの閉じられたスイッチ S<sub>q</sub> を介して充電されるべきセル C<sub>p</sub> を充電する。

【0036】この場合、電流制御 DC-DC コンバータ4の入力側は電池の全電圧 V に固定され、このため切り替える必要がない。

【0037】図3は本発明の別の代替実施形態を表す。再び、この図では図1に表されたものと同じ部分に同じ参照番号が与えられている。しかし、この実施形態におけるスイッチマトリックスは2つの部分2および2'を有する。図3の実施形態によれば、第1のスイッチマトリックス部2は、電荷を平衡にするプロセスのために電池セル C<sub>1</sub>~n 間での往復の接続を担う複数のスイッチを有し、一方第2のスイッチマトリックス部2'は電荷測定手段3が測定を行うための接続を提供するために用いられる。

【0038】別の手法として、前記いずれの実施形態においても、電流制御 DC-DC コンバータは全電池パックに過電荷を与えることもできる。

【0039】さらに、電荷測定において共通モード電圧を抑えるために、フライングコンデンサを電荷測定手段3と並列に接続することもできる。

【0040】本発明により提示される解決法は実質的に電力の散逸を低減する利点があり、これはシステムの効率を増した熱の問題を低減する。さらに、本発明による解決法は、1つの単一 DC/DC コンバータを用いるだけであるから電池管理の複雑さを低減することを可能にする。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による電池管理システムの第1の実施形態の概略図である。

【図2】本発明による電池管理システムの代替実施形態の概略図である。

【図3】本発明による電池管理システムの別の代替実施形態の概略図である。

#### 【符号の説明】

- 1 電池パック
- 2、2' スwitchマトリックス
- 3 電荷測定手段
- 4 電流制御 DC/DC コンバータ手段
- C<sub>1</sub>~n セル
- C<sub>i</sub> 過電荷セル
- C<sub>j</sub>、C<sub>p</sub> 充電不足セル
- S<sub>1</sub>~m スwitch
- S<sub>k</sub> C<sub>i</sub> から手段4へのスwitch
- S<sub>i</sub>、S<sub>q</sub> 手段4から C<sub>j</sub> へのスswitch
- V 電池全体の電荷の出力端子

【図1】

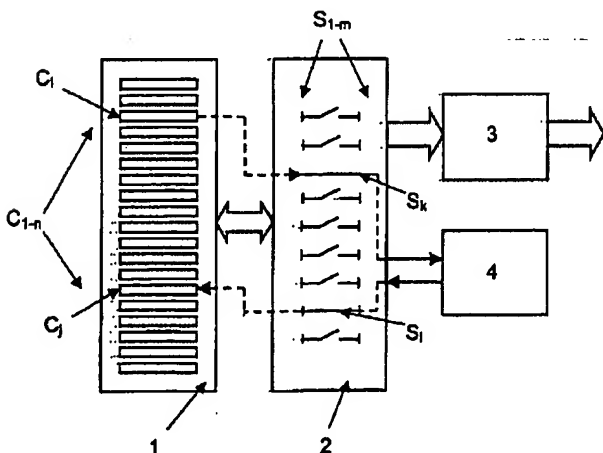


Fig. 1

【図2】

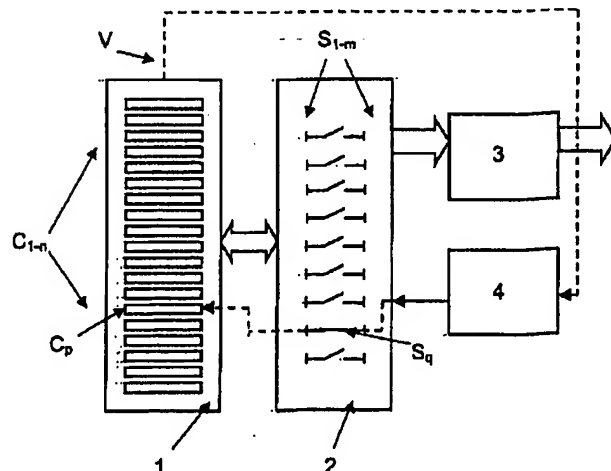


Fig. 2

【図3】

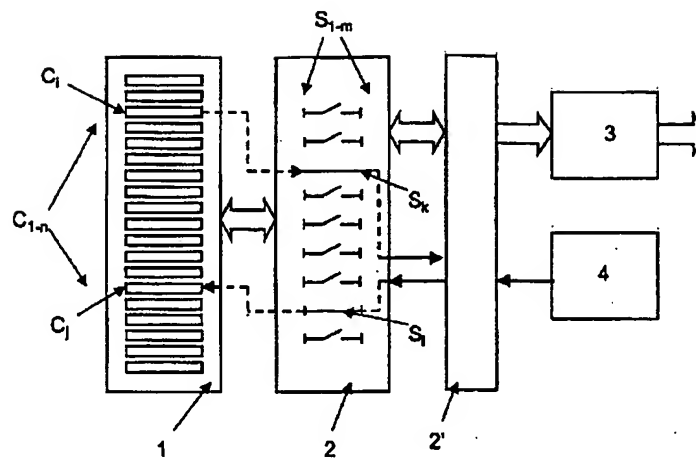


Fig. 3

フロントページの続き

F ターム(参考) 5G003 BA02 CA11 CC02 DA07 EA09  
 FA08 GB03  
 5H030 AA03 AA04 BB01 BB21 FF43  
 FF44

## 【外国語明細書】

**1. Title of Invention****System and Method For Non-Dissipative Lithium-Ion Battery Management****2. Claims**

- 1- System for management of charge in a battery pack (1) having a plurality of rechargeable cells ( $C_{1-n}$ ), the system comprising means for measuring charge (3) in each one of said plurality of rechargeable cells ( $C_{1-n}$ ), a switch matrix (2) for switching current flow to and from each one of said plurality of rechargeable cells and a current controlled DC-DC converter means (4) for providing electric charge for recharging a cell, characterized in that said current controlled DC-DC converter means (4) is adapted for extracting charge from a first cell ( $C_i$ ), or from an overall battery charge (V) and transfer said charge directly to a second cell ( $C_j$ ;  $C_p$ ) through said switching matrix (2).
- 2- System of claim 1, wherein said first cell ( $C_i$ ) of the battery pack (1) has a charge level which is higher than a first predetermined level.
- 3- System of claim 1 or 2, wherein said second cell ( $C_j$ ;  $C_p$ ) of the battery pack (1) has a charge level which is lower than a second predetermined level.
- 4- System according to any of the previous claims, wherein said current controlled DC-DC converter means (4) is adapted for drawing electric energy from a cell through said switch matrix (2).
- 5- System according to any of the previous claims, wherein said switch matrix (2) is used for individual cell charge measurements in cooperation with said charge measurement means (3).
- 6- System according any of the previous claims, wherein said switch matrix comprises a first switch matrix part (2) for charge balancing of cells and a second switch matrix part (2') for providing measurement connection to the charge measuring means.
- 7- System according to any of the previous claims, wherein said battery cells ( $C_{1-n}$ ) are of Lithium-Ion material.
- 8- A switch matrix as disclosed in the system of claim 1 or 6.

- 9- A method for management of charge in a battery pack (1) having a plurality of rechargeable cells ( $C_{1-n}$ ), comprising the steps of measuring a charge in each one of said plurality of rechargeable cells ( $C_{1-n}$ ), switching current flow to and from each one of said plurality of rechargeable cells by means of a switch matrix (2) and providing electric charge for recharging a cell ( $C_i$ ;  $C_p$ ) by means of a current controlled DC-DC converter means (4), characterized in that said current controlled DC-DC converter means (4) extracts charge from a first cell ( $C_i$ ), or from an overall battery charge (V) and transfers said charge directly to a second cell ( $C_i$ ;  $C_p$ ) through said switching matrix (2).
- 10-Method of claim 9, wherein said current controlled DC-DC converter means (4) draws electric energy from a cell ( $C_{1-n}$ ) through said switch matrix (2).
- 11-Method according to claim 9 or 10, wherein, said switch matrix (2) measures individual cell charges in cooperation with said charge measurement means (3).



### 3. Detailed Description of Invention

The present invention relates to a system as well as a method for management of charge associated to Lithium-ion (Li-Ion) batteries. More particularly the invention is related to the management of the charge which is associated to the various cells which form a Li-Ion battery pack in such a way that charge is moved from higher voltage cells to lower voltage cells of said pack in a controlled manner, thus avoiding the need for dissipating the excess charge in the higher voltage cells. Furthermore, the system of invention makes use of a very simple circuit construction in order to obtain the desired results, said circuit being based on the use of a single DC/DC converter associated with a switch matrix, wherein the DC/DC converter uses internal sources of charge for charging cells. The invention is applicable particularly in, but not limited to, space industry applications.

#### BACKGROUND OF THE INVENTION

The use of Li-Ion battery technology is relatively new. The trend toward using such batteries is due to a number of advantages that are associated to such use, such as lower mass and size compared to known aqueous cells, reduced production cost and absence of capacitive effect. So far such batteries have been used in mobile phone sets, portable computers, video recorders and electric cars among others.

A Li-Ion battery generally comprises a string of cells arranged in series connections in order to obtain the overall battery voltage. Battery capacity is defined in the first place by individual cell capacities and in the second place by the number of parallel individual cells.

Li-Ion cells have specific constraints compared to classic battery cells: *i.e.* during use, the cell charge must be controlled in such a way that the cell charge does not decrease below a certain minimum voltage and also does not exceed a certain maximum voltage. Thus there is a range of permitted charge between a minimum charge value and a maximum charge value for each cell. Exceeding this range of permitted charge of the cell, either beyond

the lower (minimum) limit, or beyond the upper (maximum) limit may destroy the cell.

Therefore there is a need to provide a management procedure for the Li-Ion battery in order to control the charge of each individual cell, based on a precise measurement of the cell charge. Such procedure would in principle be based on the following criteria: when the cell charge exceeds a certain value, charge has to be removed from the cell, and correspondingly, when the charge reaches a certain minimum value, charge must be added to the cell. This procedure is basically the classic approach of battery management known in the related art. These approaches are generally based on dissipating the excess charge found in the cell with a high voltage value into so-called bleeder resistors. The main drawback of this approach is that it leads to increased heat dissipation, which as a consequence gives rise to a poor system efficiency with respect to exploitation of the energy produced by the solar array.

Attempts have been made in the related art so as to avoid heat dissipation during the management of the battery (or the cell) charge. A few approaches of such kind are suggested in the article published by IEEE, entitled "Dynamic equalization techniques for series battery stacks" by N.H. Kutkut, *et al*, presented at the Eighteenth International Telecommunications Energy Conference (INTELEC), Boston, MA, USA, 6-10 Oct., 1996; pages 515-521, the content of which is incorporated herein by reference.

According to one of the approaches taught in said document, charge equalization may be achieved by using isolated current controlled DC-DC converter modules across each battery cell. The drawback associated with this solution is that of using as many converters as battery cells, which increases substantially the complexity and cost of the circuit.

Another approach suggested in the same document is the use of a centralized converter in association with multi-winding transformers. This solution also has the drawback of complexity and high cost of the circuitry involved.

Further solutions suggested by the mentioned document of the prior art are related to approaches which divert from the solution proposed by the present invention.

US Patent number 5,656,915 discloses a battery management arrangement in which use is made of a switching arrangement which lets current through a pre-selected group of cells within a battery pack. The cell groups which require to be charged are then connected to a charging source through the switching arrangement. Among the differences existing between the teaching of this document and that of the present invention mention may be made to the fact that the arrangement of the prior art document contemplates balancing the cells in a collective manner, namely charging is carried out to a group of cells which have been selected previously, and not to individual cells. Furthermore, according to the teaching of US-A-5,656,915, the excess charge obtained from cells with a high charge value is not transferred directly to cells with low value charge, but rather the excess charge is passed to an external RC circuit via a power bus and when the charge is passed, the group of cells with high value charge is disconnected. Next the group of cells with low charge value is connected via the power bus to the RC circuit and thus energy is transferred thereto by means of the new connection. So by storing the energy in an RC circuit in the interval between extracting charge from the high charge value cells and transferring charge to the low charge value cells, there should exit some heat loss within the RC circuit. This drawback in space applications is highly problematic as on the one hand it is intended to avoid energy loss, and on the other, any energy dissipation causing heat is highly undesirable. Finally it is to be noted that the overall system disclosed in said document is relatively complex.

It is therefore desired to provide battery charge management of Li-Ion battery cells in an efficient and non-dissipative manner without a need to use complex circuitry.

The above objective is reached by using the solution proposed by the present invention according to which charge is moved from battery cells having charge values above a predetermined upper threshold value to cells with charge values below a predetermined lower threshold value. Therefore excess charge is moved from high charged cells to low charged cells instead of dissipating it as heat.

This solution is achieved by means of a simple circuit construction which makes use of a single DC/DC converter in order to move the charge among cells. The movement of charge among cells is carried out by utilizing a switch matrix, capable of establishing connections among relevant cells via the DC/DC converter thus making the flow of charge possible.

Furthermore, the same switch matrix is also used for individual cell charge measurements in cooperation with a charge measurement means as will be explained further below. Said measurement is carried out using a simple algorithm by means of which all cells are consecutively addressed by said charge measurement means. Therefore it is made possible to map the charge condition of each cell at a given moment of time.

Based on the mapping obtained, charge may be moved from cells with an excess charge value to cells which have a low charge value and thus require to be charged.

Accordingly one object of the present invention is that of providing a system for management of charge in a battery pack having a plurality of rechargeable cells, the system comprising means for measuring charge in each one of said plurality of rechargeable cells, a switch matrix for switching current flow to and from each one of said plurality of rechargeable cells and a current controlled DC-DC converter means for providing electric charge for recharging a cell, characterized in that said current controlled DC-DC converter means is adapted for extracting charge from a first cell, or from an overall battery charge and transfer said charge directly to a second cell through said switching matrix.

According to an aspect of the present invention, said first cell of the battery pack has a charge level which is higher than a first predetermined level.

According to another aspect of the present invention, said second cell of the battery pack has a charge level which is lower than a second predetermined level.

According to a further aspect of the present invention, said current controlled DC-DC converter means is adapted for drawing electric energy from a cell through said switch matrix.

According to still a further aspect of the present invention, said switch matrix is used for individual cell charge measurements in cooperation with said charge measurement means.

According to yet an additional aspect of the present invention, the switch matrix of the present invention comprises a first switch matrix part for charge balancing of cells and a second switch matrix part for providing measurement connection to the charge measuring means.

According to still a further aspect of the present invention, said battery cells are of Lithium-Ion material.

Another object of the present invention is that of providing a switch matrix as disclosed in the system of the present invention.

Another object of the present invention is that of providing a method for management of charge in a battery pack having a plurality of rechargeable cells, comprising the steps of measuring a charge in each one of said plurality of rechargeable cells, switching current flow to and from each one of said plurality of rechargeable cells by means of a switch matrix and providing electric charge for recharging a cell by means of a current controlled DC-DC converter means, characterized in that said current controlled DC-DC converter means extracts charge from a first cell, or from an overall battery charge and transfers said charge directly to a second cell through said switching matrix.

According to another aspect of the present invention, there is provided a method for management of charge in a battery pack in which said current controlled DC-DC converter means draws electric energy from a cell through said switch matrix.

According to still a further aspect of the present invention, said switch matrix measures individual cell charges in cooperation with said charge measurement means.

These and further advantages of the present invention are explained in more detail in the following description as well as in the claims with the aid of the accompanying drawings.

### EXAMPLES OF PREFERRED EMBODIMENTS

According to the scheme shown in figure 1, a battery pack 1, has a plurality of cells  $C_{1-n}$  arranged in series connection. The battery pack 1 is in bi-directional connection with a switch matrix 2, having a plurality of switches  $S_{1-m}$ , as shown in the figure by means of a double headed arrow. The switch matrix may be implemented by a relay matrix or by means of other known switching devices.

As discussed further above, during normal operation the cell charge must be controlled in such a way that the cell charge does not decrease below a certain minimum value and also does not exceed a certain maximum value. Therefore it is needed to measure the charge level of each cell in a convenient manner so as to avoid overcharge or undercharge situations in the cells.

A charge measurement means 3 is used for measuring the charge of the cells. Said charge measurement means 3 measures the charge of each cell by means of selective connections made thereto through the switch matrix 2. The charge measurement means 3 consecutively measures the charges in the cells  $C_{1-n}$  and maps the charge condition of each cell at a given time. The switch matrix is also in bi-directional connection with a current controlled DC-DC converter means 4.

With this arrangement, the charge management process according to the present invention is preferably carried out in the following manner.

Based on the mapping of each cell charge, certain cells are detected to have charges below a predetermined lower value, and others to have charges above a predetermined upper value.

In figure 1, it is assumed that a cell,  $C_j$  has a charge level which is below a predetermined lower value such that it is necessary that said cell is provided with charge. The low level of charge of cell  $C_j$  is detected by the charge measurement means 3 which reads the charge in all the cells of the battery pack through the switch matrix 2. The charge measuring means 3 also detects the cells,  $C_i$  which contain excess charge, namely charge over a predetermined upper value. This information is provided in known manners

to a central processing unit not shown in the figure for simplicity. Next the switch matrix 2 provides a first connection, by closing an appropriate first single switch  $S_k$  from the cell  $C_i$  with excess charge to a current controlled DC-DC converter means 4, as well as a second connection, by closing a second single switch  $S_l$ , from the current controlled DC-DC converter means 4 to the cell  $C_j$  which was detected to have a charge value below said predetermined level. In this manner, connection is provided from the cell  $C_i$  with excess charge through switch  $S_k$  to the current controlled DC-DC converter means 4 and from the latter, through switch  $S_l$  to the cell  $C_j$  which needs to be charged. Therefore, charge may flow from  $C_i$  to  $C_j$ . The charge flow is continued until the receiving cell  $C_j$  is charged to a value within an admitted range of charge level.

Figure 2 represents an alternative embodiment of the present invention. In this figure equal reference numerals have been given to equal parts as represented in figure 1. Likewise, the manner of measuring the charge of the cells  $C_{1-n}$  is carried out using the charge measuring means 3 through the switch matrix 2 as discussed in relation to the embodiment of figure 1.

In figure 2, the cell having the reference numeral  $C_p$  has a charge level below a predetermined lower value. However, in this embodiment, said cell  $C_p$  receives charge flow which is obtained from the overall battery charge, and not from an individual cell. As it is clearly shown in figure 2, the current controlled DC-DC converter means 4 is directly connected to the overall battery charge output terminal V and moves the charge therefrom toward the cell to be charged  $C_p$  through the closed switch  $S_q$  of the switch matrix.

In this case, the inlet of the current-controlled DC-DC converter 4 is fixed at the battery overall voltage V and thus need not be switched.

Figure 3 represents another alternative embodiment of the present invention. Again, in this figure equal reference numerals have been given to equal parts as represented in figure 1. Nevertheless the switch matrix in the present embodiment comprises two parts, 2 and 2'. According to the embodiment of figure 3, a first switch matrix part, 2, comprises a plurality of switches which are in charge of providing connections to and from the battery cells  $C_{1-n}$  for charge balance processes, whereas a second switch matrix part, 2', is used for providing measurement connections to the charge measuring means 3.

As an alternative approach, in any of the above embodiments, the current-controlled DC-DC converter may feed the excess charge to the overall battery pack.

Furthermore, in order to suppress common mode voltage in the measurement of charge, a flying capacitor may be connected in parallel to the charge measurement means 3.

The solution proposed by the present invention provides the advantage of substantially reducing power dissipation which leads to increased system efficiency and reduces thermal problems. Furthermore the solution of the invention permits reduced battery management complexity as only one single DC/DC converter is used.

#### 4. Brief Description of Drawings

Figure 1 is a schematic representation of a first embodiment of a battery management system according to the present invention.

Figure 2 is a schematic representation of an alternative embodiment of a battery management system according to the present invention.

Figure 3 is a schematic representation of another alternative embodiment of a battery management system according to the present invention.

Fig. 1

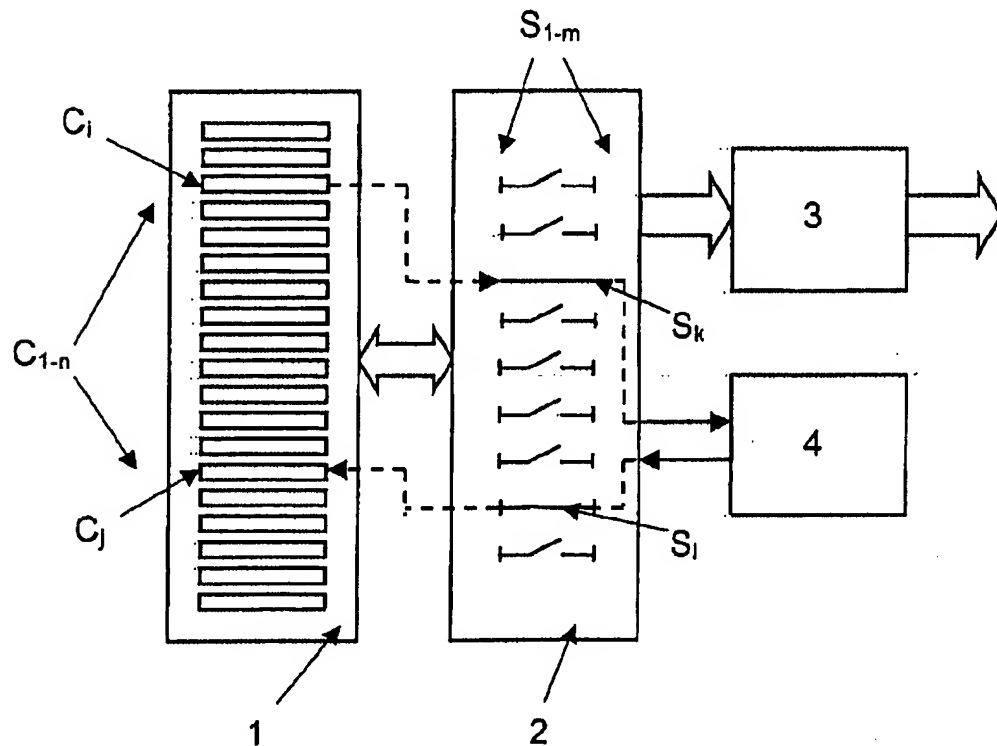


Fig. 1



Fig. 2

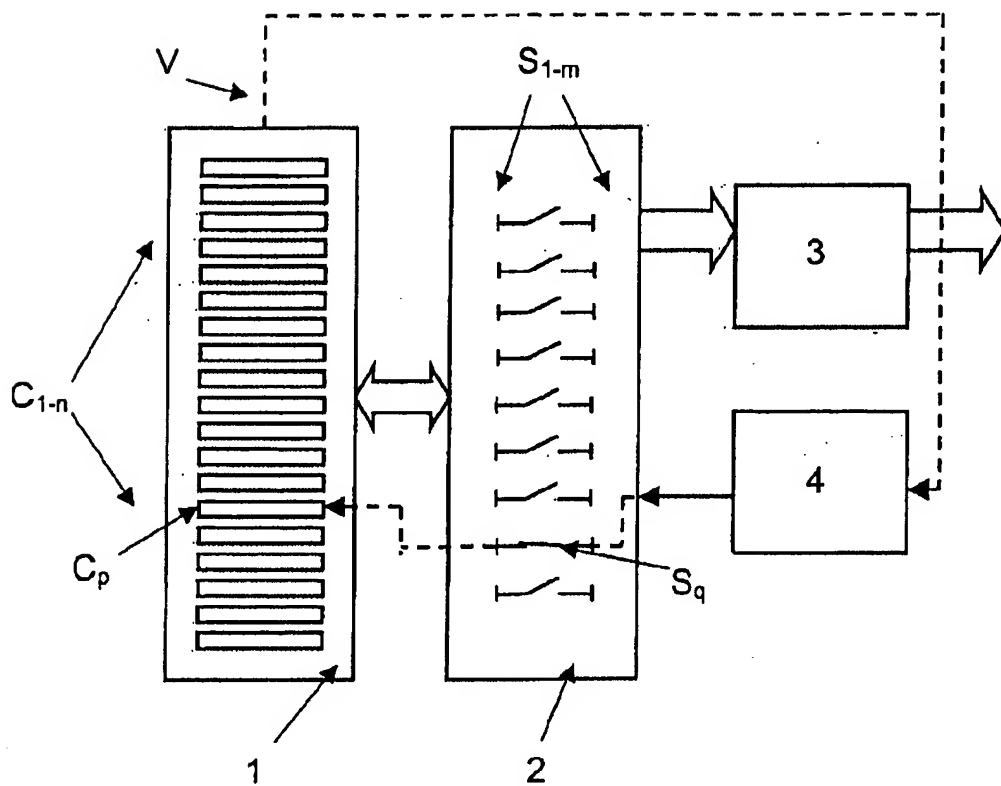


Fig. 2

Fig. 3

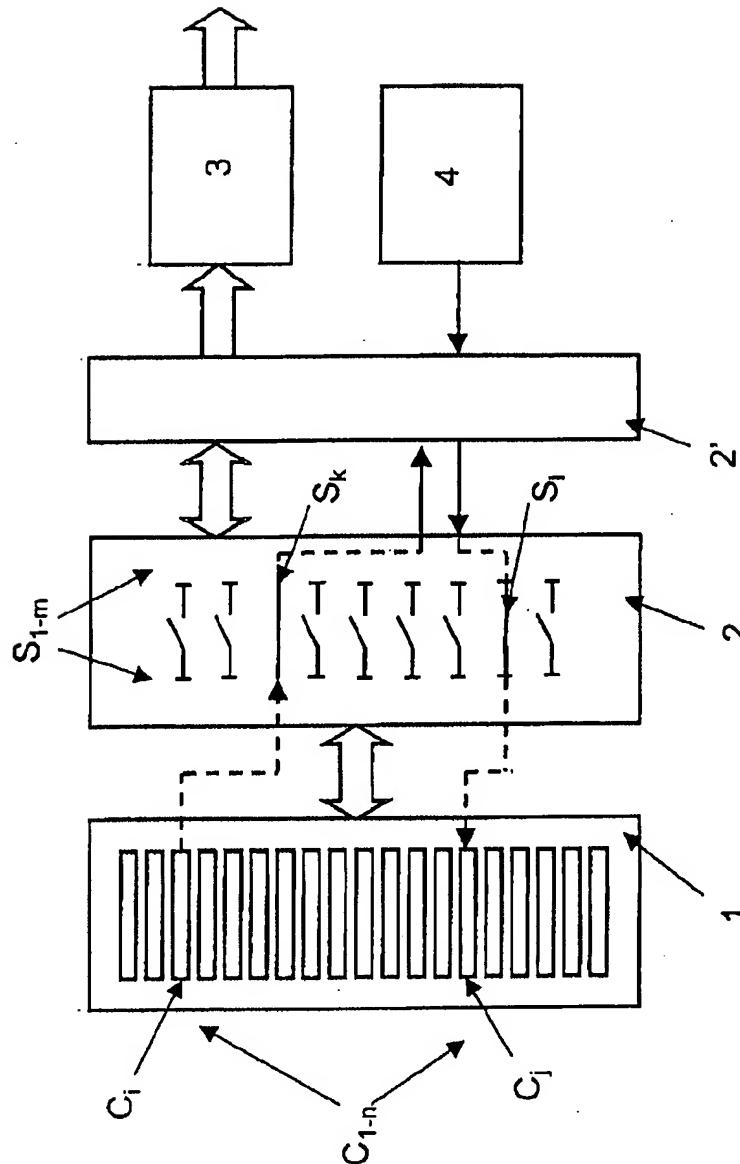


Fig. 3

## 1. Abstract

System and method for management of charge in a battery pack (1) having a plurality of rechargeable cells ( $C_{1-n}$ ), means for measuring charge (3) in said plurality of rechargeable cells ( $C_{1-n}$ ), a switch matrix (2) for switching current flow to and from said rechargeable cells and a current controlled DC-DC converter means (4) for providing electric charge for recharging a cell. The invention is characterized in that said current controlled DC-DC converter means (4) extracts charge from a first cell ( $C_i$ ), or from an overall battery charge (V) and transfers said charge directly to a second cell ( $C_j$ ;  $C_p$ ) through said switching matrix (2) thus avoiding substantial power dissipation.

## 2. Representative Drawing

Fig. 1